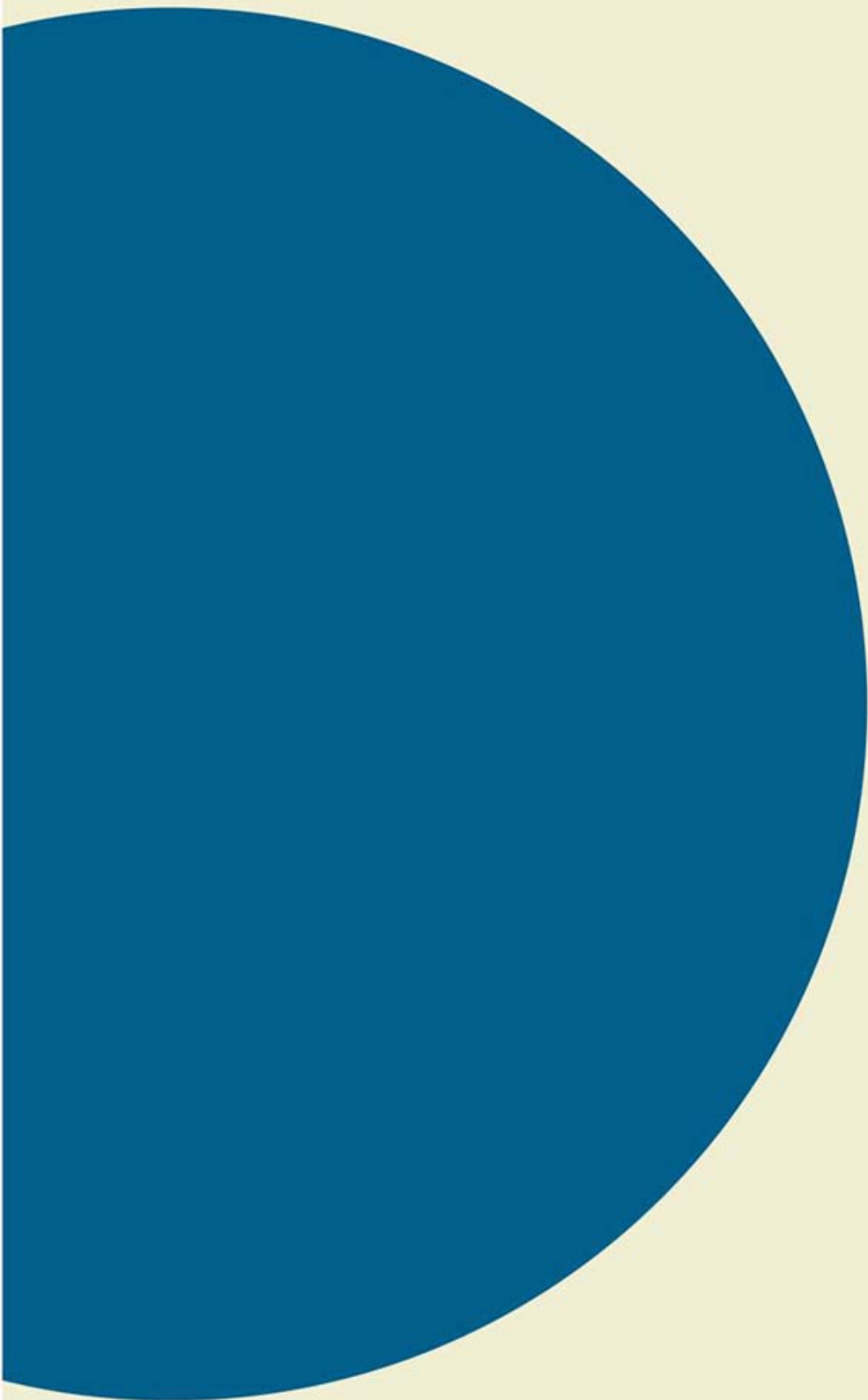


Bestemmelse af grundvandsstrømningen til Skærsø

Bertel Nilsson, Per Jensen, Torben Sonnenborg, Jacob Kidmose,
Sachin Karan & Peter Engesgaard



Bestemmelse af grundvandsstrømningen til Skærsø

Bertel Nilsson¹, Per Jensen¹, Torben Sonnenborg¹, Jacob Kidmose²,
Sachin Karan² & Peter Engesgaard²

¹De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)

²Institut for Geografi og Geologi, Københavns Universitet (KU)

Indhold

Indhold	2
1. Baggrund	3
1.1 Specifikke mål med undersøgelsen.....	3
2. Aktiviteter og metoder	4
2.1 Geologisk ramme	4
2.2 Hydrauliske forhold	5
2.3 Vandbalance.....	5
2.4 Vandkvalitet	8
3. Resultater	9
3.1 Geologisk ramme	9
3.1.1 Geologisk tolkningsmodel.....	10
3.2 Hydrauliske forhold på regional skala	11
3.2.1 Regional hydrogeologi	11
3.3 Sø-hydrogeologi.....	12
3.3.1 Lokale gradientforhold	13
3.3.2 Seepagemeter målinger	14
3.3.3 Stabile iltisotoper.....	15
3.3.4 Temperaturspyd.....	16
3.3.5 Sammenligning af metoder til bestemmelse af udveksling.....	19
3.3.6 Vandbalance	20
3.3.7 Størrelse af opland til Skærsø.....	24
3.4 Vandkemiske forhold	25
4. Konklusion og anbefalinger	26
5. Referencer	29
Bilag	30

1. Baggrund

GEUS har i samarbejde med Institut for Geografi og Geologi (KU) foretaget en indledende kortlægning af grundvandstilstrømningsområder til Skærsø. Undersøgelsen har til formål at kvalificere Kolding kommunes prioritering af arealer i oplandet til Skærsø, hvorfra reduktion af næringsstofftilførslen til Skærsø er nødvendig, hvis god økologisk tilstand skal opnås i søen igen.

1.1 Specifikke mål med undersøgelsen

Specifikke formål:

- at fastlægge den geologiske ramme under og omkring Skærsø
- at bestemme en grov vandbalance for Skærsø

2. Aktiviteter og metoder

I perioden 27.-31. august 2007 er der udført feltarbejde ved Skærsø af GEUS og KU (tabel 1).

Tabel 1. Feltaktiviteter ved Skærsø

Dato	Aktiviteter
27/8-07	MEP1 Transekt T1
28/8-07	MEP2 Transekt T2
29/8-07	Transekt T3 Seepage meter målinger Regional pejlerunde
30/8-07	MEP3 Transekt T4 Seepage meter målinger Potentiometer målinger Udløbsmålinger Regional pejlerunde
31/8-07	Regional pejlerunde Databearbejdning

2.1 Geologisk ramme

De geologiske oplysninger i det sønære område er stærkt mangelfuld grundet meget få boringsoplysninger i området omkring Skærsø. Søen er beliggende i et morænelerslag, hvor søens dybeste del (7 meters vanddybde) tilsyneladende ikke er i direkte hydraulisk kontakt med et underliggende grundvandsmagasin. Gamle grundvandspejlinger i 1970-erne af boringer nær søen kunne antyde, at der er frie vandspejlsforhold i grundvandsmagasinet under søen. En mere detaljeret beskrivelse af den geologiske ramme omkring og under søen er udført for at kunne afklare dette forhold.

MEP metoden (Multi Elektrode Profileringsmetode) er en geoelektrisk profileringsmetode, som er baseret på, at forskellige bjergartstyper har variation i elektrisk ledningsevne og dermed også forskellig modstand (Geofysiksamarbejdet, 2005). Typiske modstande er: Moræneler (30-80 Ohmm), sand over grundvandsspejl (GVS) (>200 Ohmm) og sand under GVS (100-500 Ohmm). Modstanden måles som spændingsforskellen mellem potentialspyd. De tre opmålte MEP profiler (Wenner-opstilling) er opmålt ved et udlæg af kabler over en 480 m strækning. Langs udlægget er placeret elektroder (spyd) med en indbyrdes afstand på 5 meter. Der er udsendt en spænding mellem strømspydene på 400mV-2000mV. I alt er opmålt 1488 datapunkter for hver MEP profil. Profilerne er tolket med inversionsprogrammet Res2Dinv.

Der er udført følgende:

- Opmåling af 3 MEP land-profiler langs og vinkelret på søbredden af 480 meters længde.
- Processering og fortolkning af MEP data
- MEP profilerne sammentolkes med de geologiske profiler udarbejdet i notat af Miljøcenter Ribe (april 2007).

2.2 Hydrauliske forhold

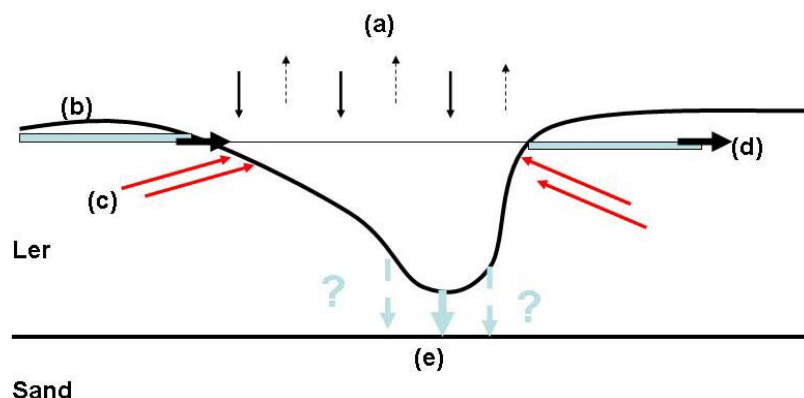
Grundvandsspejlets placering og hældning i det underliggende grundvandsmagasin er blevet opdateret ved pejling af borer i det regionale sandmagasin i området omkring Skærsø. Desuden er de hydrauliske gradienter blevet bestemt i og nær søbredden på enkelte stationer, så eventuelle ind- og udstrømningsområder kan lokaliseres.

Der er udført følgende:

- Alle tilgængelige borer med filtersætning i det regionale grundvandsmagasin i en afstand af maks. 2 km fra søen pejles til udarbejdelse af et potentialkort for det underliggende grundvandsmagasin
- 4 transekter med 6-11 monitoringspunkter i hver er etableret, pejlet og prøvetaget langs søbredden. Transekternes længde vinkelret på søen er ca. 30-50 m.

2.3 Vandbalance

En grov vandbalance opstilles for søen til bestemmelse af strømningsbilledet omkring søen. Figur 1 viser de enkelte led i vandbalancen for Skærsø som denne undersøgelse vil beskæftige sig med. Dog vil hovedparten af undersøgelsens fokus være på bestemmelsen af grundvandstilstrømningen.



Figur 1. Vandbalance for Skærsø. (a) Nedbør og fordampning, (b) tilløb i grøfter og dræn, (c) grundvandstilstrømning, (d) afløbsgrøft og (e) nedsivning gennem søbund.

Der er udført følgende:

- Nedbør og fordampnings data fra DK-modellens 10x10km grid, der dækker Skærsø, er benyttet til estimering af nettoinfiltration
- Manuel måling af vandføring i afløbs-grøft. Der er for lille vandføring i indløbsgrøfterne i feltperiode til at måle disse bidrag til vandbalancen.
- Måling med potentiometer udført langs søens bred til screening for ind- og udstrømningszoner.
- Der er udført seepagemeter målinger i søbunden ud for transekterne T1 og T4.
- Der er udført temperaturmålinger i seks positioner i de øverste ca. 0,5 m af søbunden med temperaturspyd [model TP62].

Det skal bemærkes at dræntilstrømningen forventes at være af stor betydning for både de kvalitative og kvantitative forhold til søen. Drænkompenten indgår imidlertid ikke i nærværende undersøgelse. Til opstilling af en grov vandbalance er der derfor taget udgangspunkt i tidligere rapporterede vandmængder fra tilløb 1-3 i 1991 (Ribe amt, 1992).

Seepagemeter. Et seepagemeter er en overskåret tønne (ca. 30 cm høj) nedsat i bundsedimentet, se figur 2. I toppen af tønden er monteret et rørsystem, hvorfra indsvivende grundvand (eller udsivende vand initiel i posen) kan opsamles (eller tabet vurderes) i en plasticpose. Der er installeret 3 seepagemetre i forskellig afstand fra søbredden. Seepagemetrene er installeret i relativ kort tid (3-12 timer) og bliver placeret så der er et sammenfald med transekterne T1 og T4. En mere indgående beskrivelse af metoden kan ses på <http://www.lake-restoration.net/>.



Figur 2. Seepagemeter. Foto stammer fra Hampen sø, da det uklare vand på mere end 0.5 m vanddybde umuliggjorde fotografering af seepagemetre i Skærsø.

Hydraulisk potentiomanometer (i daglig tale potentiometer). Et apparat til måling af trykforskellen mellem grundvand og søen, dvs. til lokalisering af ind- og udstrømningssektioner (fig. 3). Skal bl.a. bruges til at finde egnede lokaliteter for transekterne med

mini-piezometre. I princippet består apparatet af et lille håndbor, der kan bores ned i søens bundsediment. Det hydrauliske trykniveau måles relativt i forhold til søen.



Figur 3. Trykniveaumåling med potentiometer.

2.3 Temperaturforhold

Der er benyttet et temperaturspyd til opmåling af temperaturfordelingen i de øverste ca. 0,5 m af bundsedimentet, se figur 4.



Figur 4. Temperaturspyddet ses til venstre og potentiometeret til højre. Spyddet presses ca. 0,5 m ned i bundsedimentet. De nederste 0,5 m af spyddet har 6 temperatursensorer placeret i forskellige niveauer.

2.4 Vandkvalitet

Søen var indtil slutningen af 1980'erne én af Danmarks reneste søer, hvorefter tilstanden forværredes pludseligt. Ifølge DMU er årsagen til denne forværring ikke fuldstændig kendt. En væsentlig årsag er formentlig en øget tilledning af næringsalte fra de tilgrænsende landbrugsarealer.

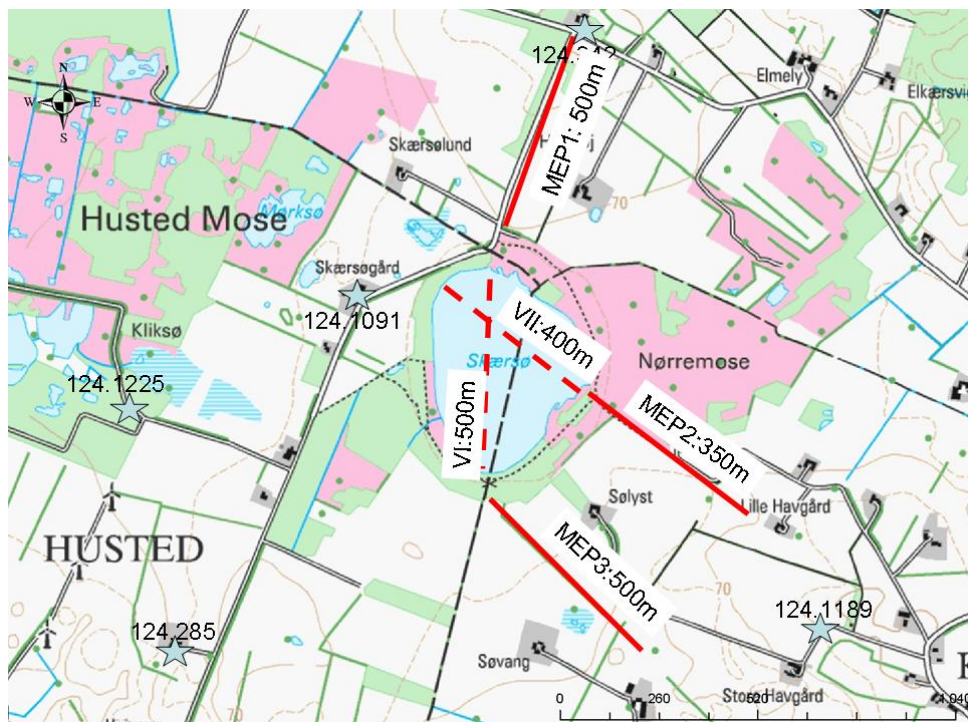
Der er udført følgende:

- Udtagning af vandprøver fra de forskellige led i vandbalancen til bestemmelse af nitrat og total-P. Nitrat er bestemt med DIONEX ion kromatografi og total-P ved metoden DS292.
- Analyseresultaterne sammenstilles med vandbalancen til vurdering af, om der kan være betydelige bidrag af N og P fra andre tilstrømningsveje til søen end fra drænvandet.

3. Resultater

3.1 Geologisk ramme

Tolkning af MEP profilerne er baseret på geofysiksarbejdets målinger af danske sedimentmodstande, samt viden om lokalgeologien ud fra borer i nærområdet til Skær sø. Det ene MEP profil (MEP3) er så stærkt forstyrret af rør i jorden, at det inverterede profil ikke kan bruges. I dele af de to øvrige MEP profiler er datakvalitet ligeledes dårlig grundet påvirkning af ledningsføringer i jorden. MEP1 går på tværs af en øst-vestgående naturgasledning i jorden, hvorfor alle datapunkter i de ca. 150 profilmeter nærmest søen er fjernet. MEP2 er beliggende langs udløbsgrøften på søens østlige side. Ved processering af data ses en dårlig datakvalitet langs ca. 200 profilmeter nærmest søen. I denne del af profilet er datapunkter under ca. 10 meters dybde stærkt forstyrret. Dette skyldes sandsynligvis, at grøften er lagt i et større elektrisk ledende drænrør, som forstyrrer de geoelektriske målinger. Derfor er alle datapunkter under ca. 10 meters dybde udeladt. Det vurderes dog muligt at opnå troværdige målinger af de øverste ca. 10 m af jordprofilet nærmest søen. Placeringen af de tre profillinier fremgår af figur 5.



Figur 5. Placering af MEP profiler på land og i Skær sø

Profilene MEP1 og MEP2 fremgår af bilag 1 og 2. Profilerne kan groft opdeles i tre lagenheder med forskellige modstandsintervaller. Øverste interval er et

”høj”modstandslag med en varierende modstand på 100-300 Ohmm, svarende til vandmættet sand. Det mellemste interval er et ”lav”modstandsinterval på 30-60 Ohmm, svarende til moræneler. Det nederste interval er et ”høj”modstandslag på 100-300 Ohmm, svarende til vandmættet sand. I tabel 2 ses de omtrentlige tykkelser af de tre lagenheder, som de er vist i bilag 1 og 2.

Det skal bemærkes at GEUS’ s jordartskort (målestok 1:25.000) viser en udbredt forekomst af moræneler nord for Skærsø med afløbsløse lavninger imellem forhøjninger i morænefladen. Lavningerne er delvis opfyldt med ferskvandslag (tørv, gytje og sand) og ”terrassesand”. Jordartskortet repræsenterer en subjektiv kortlægning i 1 meters dybde med karteringsspyd. Det skal understreges at jordartskortet ikke altid fortæller noget om jordartstyperne dybere end 1 meter, hvorfor der ikke nødvendigvis behøver at være uoverensstemmelse mellem forekomst af et øvre højresistivitets sandlag og jordartskortets tolkning.

Tabel 2. Tykkelse af lagenheder baseret på MEP profilering (mut=meter under terræn)

Lagenhed	Sedimenttype	MEP1 mut	MEP2 mut
Øvre	Delvis vandmættet sand	< 5	5
Mellem	Moræneler	5-10	5-20
Nedre	Vandmættet sand	> 10	> 20

Borerapporten for boring DGUnr. 124.1091 placeret umiddelbart vest for Skærsø (se figur 5) viser, at der vest for søen er ca. 9 m moræneler, der overlejrer et regionalt sandmagasin fra 9 m til mere end 55 meters dybde. I denne boring er der kun i den øverste meter beskrevet forekomst af smeltevandssand. Tilsvarende er der i boring DGUnr. 124.1189 SØ for Skærsø beskrevet forekomst af moræneler fra terræn til 42 meters dybde. Derunder optræder morænesand og smeltevandssand indtil mere end 83 meters dybde. Ingen af de to boringer indikerer således forekomsten af smeltevandssand i de øverste ca. 5 meter nær søen. Ved gennemgang af Jupiterdatabasen er der dog klare indikationer på, at der må være et vandførende lag i de øverste 3-6 m, som har tilstrækkelig vandledningsevne til at forsyne 4 gårde nord for Skærsø med vand. Beliggenheden af de fire boringer kan ses i bilag 3 (blå ringe).

Sø-MEP i Skærsø udføres i oktober / november 2007. Resultatet af denne undersøgelse rapporteres i separat notat til Kolding kommune.

3.1.1 Geologisk tolkningsmodel

Den geologiske opbygning omkring Skærsø kan summarisk beskrives som følger:

Øverst: 3-6 m tykt delvis vandførende lag (blandet smeltevandssand og moræneler) med udbredelse nord og øst for søen. Smeltevandssandet har tilstrækkelig udbredelse til, at det kan forsyne mindre hushold nord for søen. Det vides ikke på baggrund af nærvæ-

rende undersøgelse om samme lag findes vest og syd for søen. Laget har interesse når størrelsen af de drænende oplande til Skærsø skal vurderes.

Mellem: Morænelerslag fra ca. 5 meter under terræn til 20 meter eller mere i retning mod sydøst, som ved Knudsbøl når ned til 35-40 meter under terræn. Laget genfindes i den geologiske beskrivelse fra mange boringer omkring Skærsø, hvorfor det forventes at have en regional udbredelse i området. Bunden af Skærsø er indlejret i dette morænelerslag.

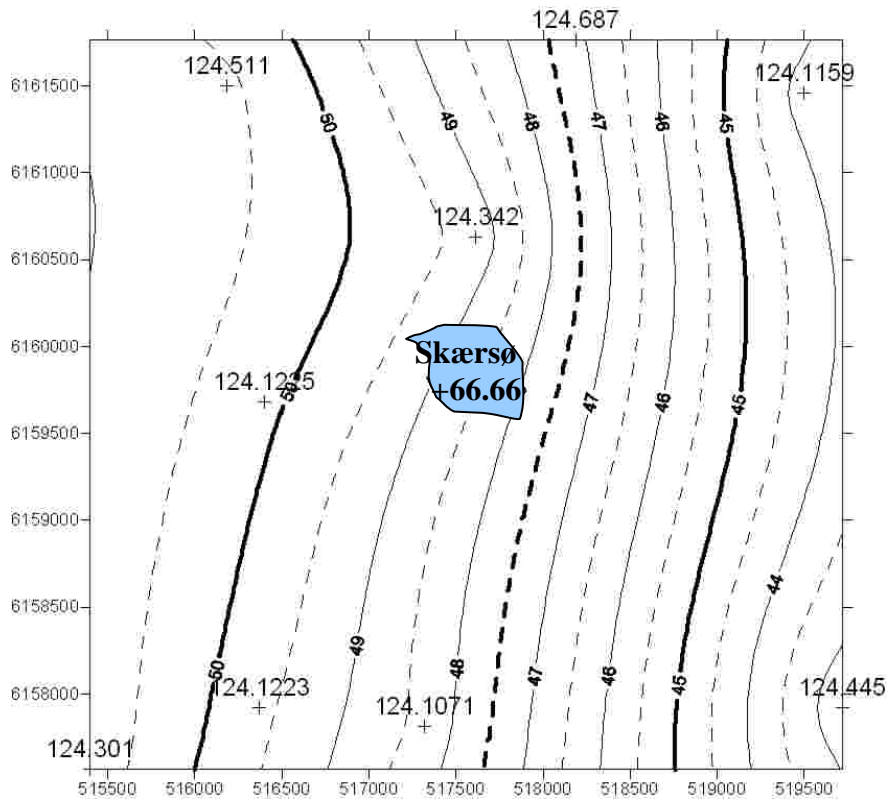
Nederst: Større sammenhængende vandførende regionalt sandmagasin fra 10-20 meters dybde og flere steder til mere 80 meters dybde.

Denne geologiske tolkningsmodel er i god overensstemmelse med notat af Jens Bruun-Petersen, Miljøcenter Ribe (2007).

3.2 Hydrauliske forhold på regional skala

3.2.1 Regional hydrogeologi

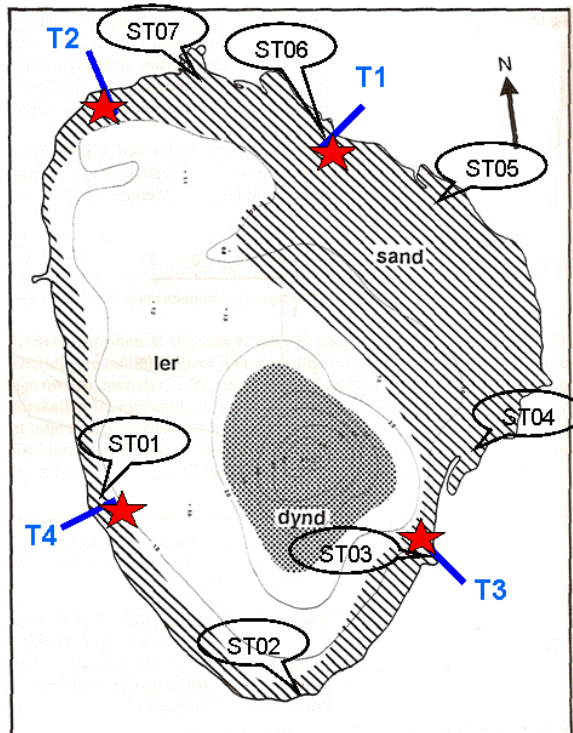
Pejlerunden har det formål at belyse placeringen og hældningen af grundvandspejlet i det regionale grundvandsmagasin. Potentialkortet er vist som fig. 6 og målingerne angivet i bilag 3. Trykniveauet falder fra + 50,5m o. DNN mod vest for søen til ca. 44,0 m o. DNN mod øst. Den horisontale trykgradient (dH/dL) er således 7,5m/4km eller ca. 1,88m/km. Skærsø's vandspejl er indmålt til +66,66 og der er således en forskel mellem søens vandspejl og det underliggende grundvandsmagasins vandspejl på ca. 17 meter. Søens dybeste del er 7 m dyb og morænelersdækket under søen er 9-10 m tyk. Der kan således konkluderes, at der ingen grundvand kan strømme til søen fra det underliggende grundvandsmagasin. Til gengæld kan det ikke udelukkes at søens vand langsomt drænes gennem morænelerslaget og således siver nedefter til grundvandsmagasinet. Dette forhold beskrives nærmere i afsnit 3.3.6.



Figur 6. Potentialekort for regionalt grundvandsmagasin. X-aksen: UTM øst (m) og Y-aksen: UTM nord (m).

3.3 Sø-hydrogeologi

Oversigten over de forskellige aktiviteter, der er udført i Skærsø, er vist på figur 7. Fire transekter er vist med midlertidig etablering af piezometre til bestemmelse af trykniveau og prøvetagning for N og P samt delta O18. Ud for hver transekt er udført seepagemeter målinger og imellem transekterne er udført potentiometermålinger og temperaturprofiler til bestemmelse af gradientforholdene og ind- og udstrømningsflukse i bredzonen.



Figur 7. Placering af transekterne T1-T4. Rød stjerne: Seepage meter målesteder. Potentiometer og temperaturmålesteder ST01-ST07.

3.3.1 Lokale gradientforhold

Trykniveauerne i søens bredzone er blevet undersøgt i fire transekter placeret vinkelret på søens bred. Transekterne står vinkelret på søbredden, hvor mindst to borer er etableret på hhv. søsiden og landssiden. Resultatet af tre af de fire transekter er vist i bilag 5.1 og 5.2. Det har ikke været muligt at vise et repræsentativt trykniveau for borerne i transekt T3, da transektet er beliggende i område domineret af blålig fed søler til mere end ca. 2 meter.

Trykgradienterne i både T1 og T2 viser horisontale trykgradienter mod søen på 0,001-0,01, hvilket resulterer i en strømning af grundvand mod Skærsø fra det terrænnære sandede grundvandsmagasin beliggende nord og nordvest for søen. Den vertikale gradient er typisk meget lille og varierer langs profilerne på landsiden. På søsiden er det ikke med transektmetoden muligt at vurdere retningen på gradienten mellem søens vand og grundvandet. Forskellen i trykniveau mellem søens vandspejl og grundvandspejlene i piezometerrørene er så lille, at ingen entydig strømningsretning har kunnet identificeres på denne måde. Dette skal samtidig ses i lyset af, at apparatusikkerheden på indmåling af søens vandspejl ved transekt T3 er på $\pm 1,4$ cm. Transekt T4 viser modsat T1 og T2 et trykniveau i borerne på landsiden, der svarer til søens vandspejl.

Til sammenligning viser måling med potentiometeret i afstande på 10-15m fra søbredden ude i søen en systematisk positiv (opadrettet) trykforskel på 5-10mm i forhold til

vandspejlet i søen, svarende til en vertikal trykgradient på 0,005-0,01. Med andre ord – grundvand strømmer til Skærsø i søens bredzone. Resultaterne af potentiometerundersøgelsen er vist i tabel 3.

Tabel 3. Potentiometermålinger 0,5 m under søbunden i Skærsø. Alle målinger udført 10-15 meter fra søbredden med ca. 0,5 m vanddybde.

Målested	Trykforskel (mm)
ST01	+ 0-5
ST02	+ 5
ST03 (v. T3)	+ 5-10
ST04	+ 5-10
ST05	+ 8-10
ST06 (v. T1)	+ 10-11
ST07	+10

3.3.2 Seepagemeter målinger

Resultater fra seepagemetermålinger ved de fire transekter viser tilstrømning pr. m² søbund på op til 1,4 l/(t*m²) (tabel 4). Kun målværdier over 100 mL/t pr. m² indstrømning eller udstrømning anses for reele værdier og kan inddrages i undersøgelsen. Samtidig viser seepagemeter målingerne at tilstrømningen kan variere meget inden for få meters afstand fra søbredden. Der er målt tre signifikante værdier, som alle indikerer en strømning af grundvand til søen gennem søbunden.

Tabel 4. Seepagemetermålinger i Skærsø. Kun målinger over 100 mL/t pr. m² indstrømning eller udstrømning anses for reelle værdier og kan inddrages i undersøgelsen (fremhævet med fed skrift). – : ingen 2. måling. 1 Den angivne måling (indstrømning) vurderes at være en målefejl, da delta O18 forholdet indikere et rent sø-signal. Målestedet er præget af svagt omsat organiske sedimenter som danner en hængesæk.

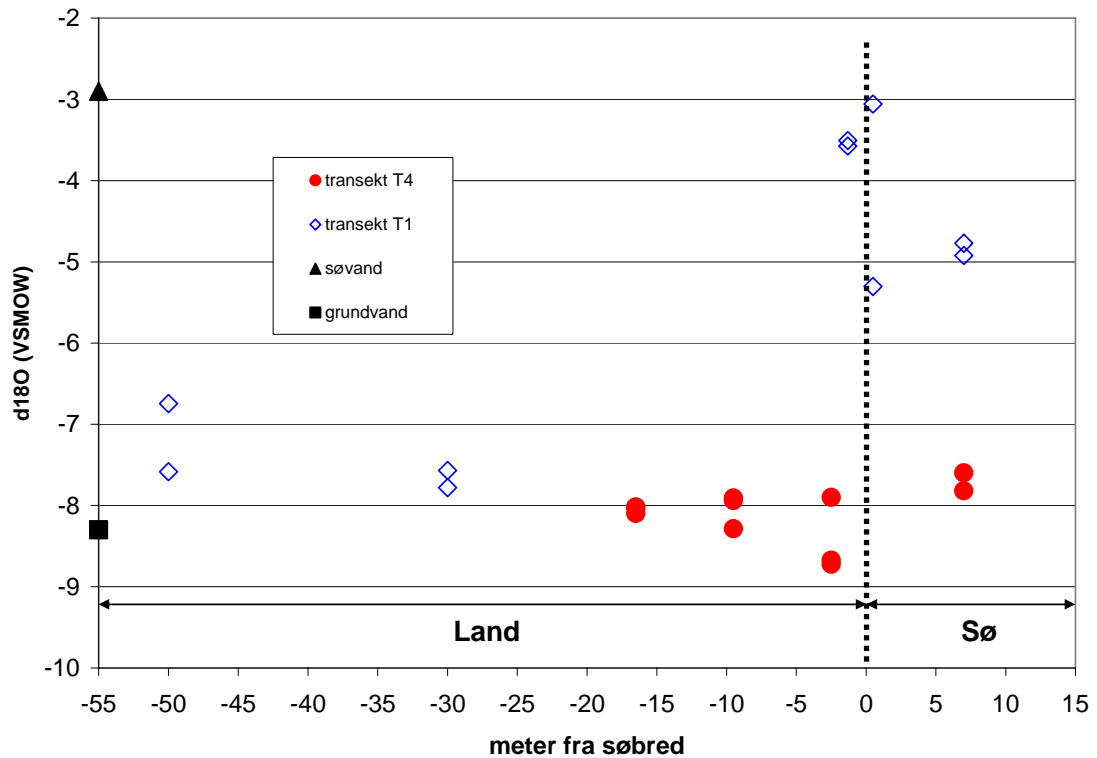
Transekt	Afstand til strandbred, m	Q/m ² søbund, mL/t pr. m ²	
		1. måling	2. måling
T1	5,2	8	-
T1	12,3	1408	559
T2	2,5	-19	-35
T2	7,0	-3	9
T2	10,2	-53	-24
T3	8,5	-23	-23
T3	12,9	266	35
T3	15,8	-37	4
T4	4,5	(581)¹	-
T4	8,6	-91	-

3.3.3 Stabile iltisotoper

Undersøgelser af sø - og grundvandets isotopsammensætning kan også bidrage med information om vandudvekslingen. Ved fordampning af søvand fra søens overflade sker der en fraktionering af de stabile iltisotoper, ^{16}O og ^{18}O . Ved fraktioneringen beriges søvandet relativt med ^{18}O i forhold til ^{16}O . I relation til grundvandet, der har et fast $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ forhold, kan søvand og grundvand adskilles på baggrund af deres forskellige isotopsignatur. Den porøse overgangszone mellem søvand og grundvand vil dermed være præget af blandingsforholdet mellem de to komponenter.

Fig. 8 viser forskelle i iltisotopsammensætningen ved de to transekter T1 og T4 ved Skærsø i 1,0 – 1,8 m under grundvandsspejl eller søbund. For transekt T1 (nordlige bred) ses aftagende $\delta^{18}\text{O}$ -værdier mod land, hvor $\delta^{18}\text{O}$ forholdet i borerne 50 meter fra søbredden (inde på land) er meget tæt på rene grundvandsværdier mens værdierne i søkanten og ca. 7 meter ude i søen har vist værdier som er meget tæt på søvand samt en blanding af søvand og grundvand. Der mangler desværre prøver i området mellem søbredden og 15-20 meter på land. En sådan ville være ønskelig for at vurdere om søvand strømmer ud i grundvandszonen. Iltisotopmålingerne indikerer, at grundvandstilstrømningen ved transekt T1 er så beskeden, at diffusion af søvand (med sø $\delta^{18}\text{O}$ signal) overpræger grundvands $\delta^{18}\text{O}$ signalet.

$\delta^{18}\text{O}$ -forholdet i transekt T4 (vestlige bred) viser værdier lige under -8 under søen og på land, hvilket indikerer at området ved T4 er et tilstrømningsområde med grundvand til Skærsø.



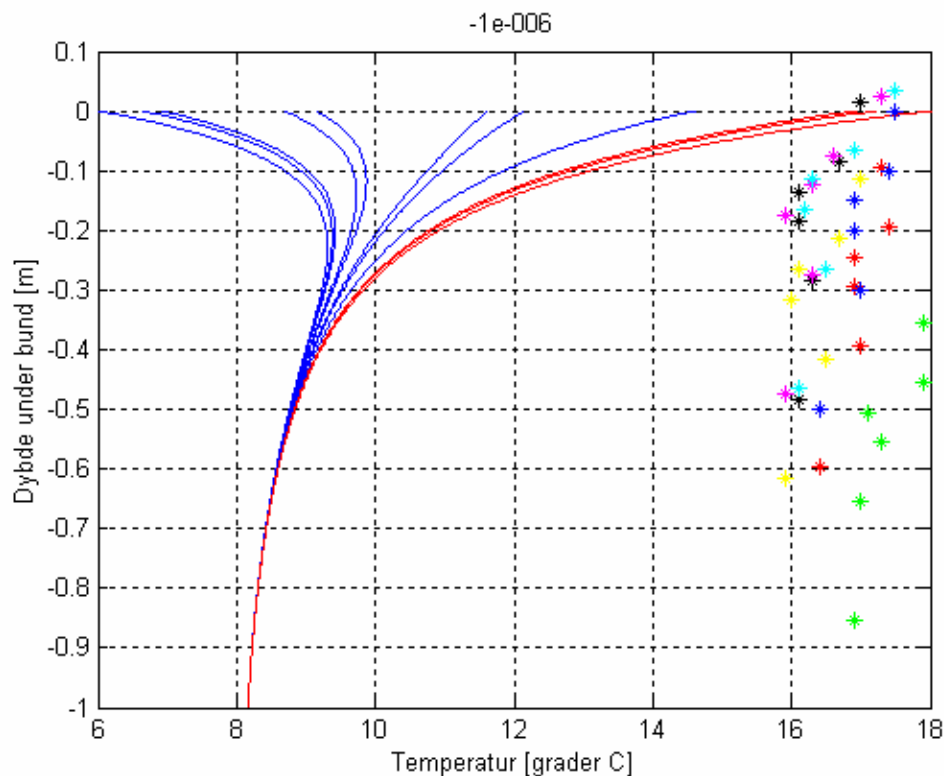
Figur 8. Forholdet mellem ^{18}O og ^{16}O beskrives ved $\delta^{18}\text{O}$ som gives i forhold til den vedtagne "Vienna Standard Mean Ocean Water" standard og regnes i promille. Ved positiv forøgelse af $\delta^{18}\text{O}$ bliver prøven mere forarmet i den lette ^{16}O . Udover resultaterne fra tilstrømningszonerne ses længst til venstre $\delta^{18}\text{O}$ for henholdsvis grundvand fra området og søvand fra Skærsø. 10m angiver afstand fra søbred (0m) og ud i søen, mens -55m angiver afstand fra strandkant mod land. Standardafvigelse for $\delta^{18}\text{O}$ var 0,10. Prøverne er udtaget i 1-1,8 m under grundvandsspejl eller under søbund.

3.3.4 Temperaturspyd

Temperaturprofilerne kan bruges til at vurdere størrelsesordenen på en vertikal ind- eller udsivning. Det udnyttes, at der er tale om to varmekilder; søen som en varmekilde, der er udsat for en sæsonmæssig og daglig temperatursvingning, og grundvand som en varmekilde, med en konstant temperatur på 8 grader C i en given dybe under søens bund. Der vil være en varmetransport ud af søen, ved f.eks. varmeledning, der vil bringe søens varme ned i bundsedimenterne. Hvis der samtidigt er en udsivning fra søen vil varmetransporten accelereres ved varmekonvektion og søens temperatur vil mærkes dybt nede i sedimenterne. Hvis der er indsivning vil grundvandet konstant tilføre koldt grundvand til søen og søens temperatur vil derfor ikke nå særlig dybt. Disse effekter er simuleret med en simpel analytisk model under antagelse af gængse parametre for bl.a. varmekapacitet og varmeledningsevne for sandede sedimente. Dernæst er det antaget, at søen har en minimums- og maximumstemperatur på henholdsvis 6 og 18 grader svarende til en gennemsnitlig temperatur på 12 grader. Disse temperaturdata svarer rimeligvis til tidligere målinger, men under den antagelse, at søen var lidt varmere i vinterperioden og lidt koldere her i sommerperioden. Temperatursvingningerne er antaget at være sinus-

formet hen over året med en amplitude på 6 grader. Grundvandet antages at have en temperatur på 8 grader i 5 m's dybde under søens bund.

Figur 9 viser målte og simulerede temperaturprofiler under den antagelse, at grundvandsindsivningen er $q=10^{-6}$ m/s. Alle data er plottet i samme figur. Generelt viser data et temperaturfald på ca. 1 grad over 0,5 m. Data fra ST03 (grønne symboler) afviger fra de andre stationer. Her blev der målt på lavere vand i et område med lille vandomrøring på grund af nedfaldende træer. I nogle tilfælde er søens temperatur lidt koldere end umiddelbart under bunden, hvilket skyldes en afkøling af søvand.



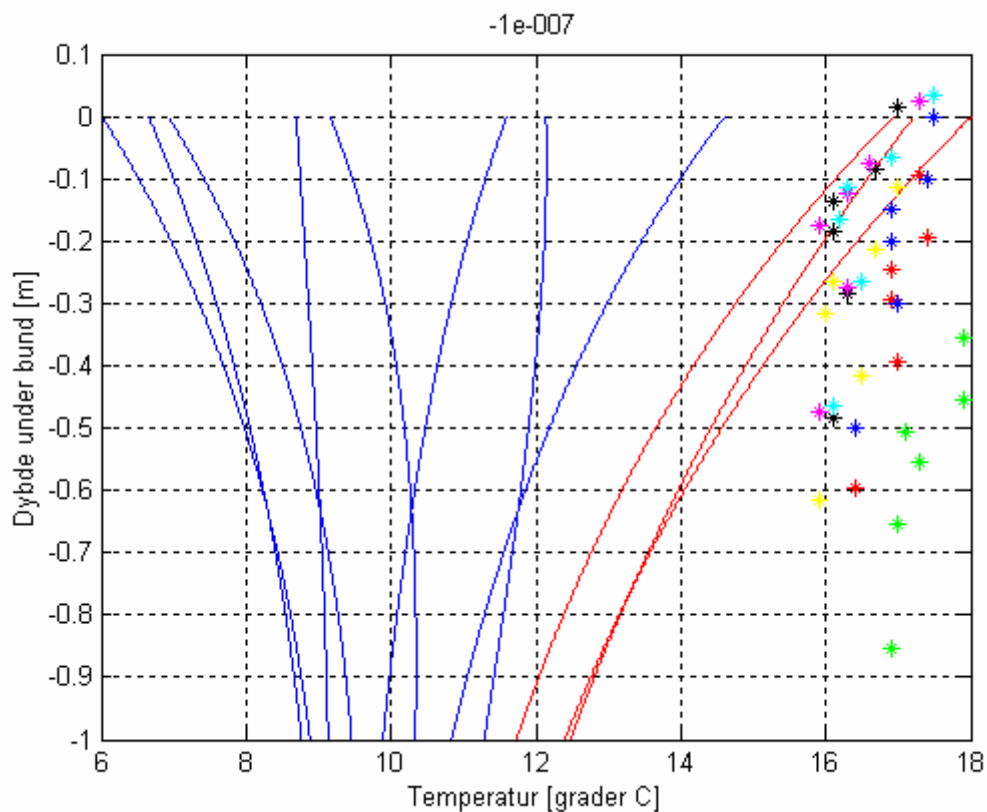
Figur 9. Målte temperaturdata (farvede symboler) ved ST01-ST07. Linierne viser de simulerede profiler med indsivning på 10^{-6} m/s (blå er kølige perioder, rød er varme perioder). Bemærk, at søens bund er i dybden 0 m. Her svinger temperaturen fra 6 til 18 grader svarende til søens antagede sinusformede temperatursvingninger.

En indstrømning på 10^{-6} er urealistisk høj, da det ses, at vandet har grundvandstemperatur næsten op til 0,5 m under bunden ($z=0$ m), hvilket betyder, at i de varme sommermåneder er der tæt ved en 10 graders forskel over 0,5 m.

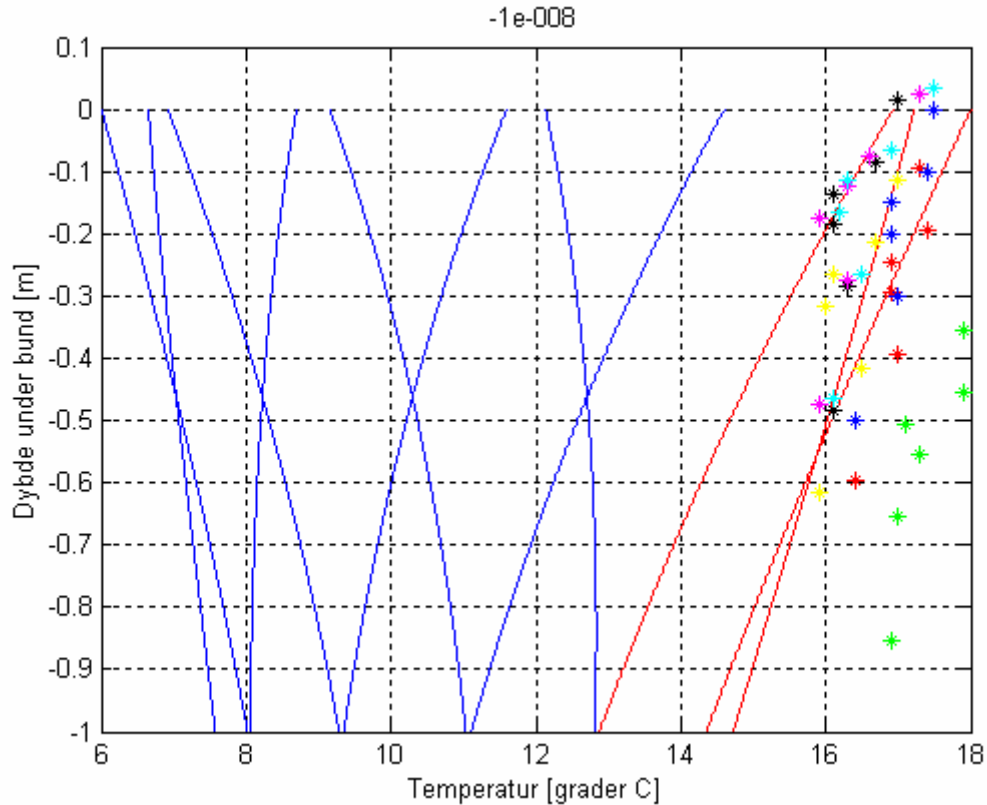
Figur 10 og 11 viser tilsvarende simuleringer, men nu med indstrømning på henholdsvis 10^{-7} og 10^{-8} m/s. En indstrømning på 10^{-8} m/s passer rimeligt med data, da de (røde) sommerprofiler har et simuleret fald på omkring 1 grad, hvilket er i overensstemmelse med data. På grund af usikkerhed på inputparametre, geometri og randbetingelser i modellen kan det dog ikke udelukkes, at en indsivning på 10^{-7} m/s også er realistisk.

Der er også forsøgt med en udsivning på 10^{-8} - 10^{-7} m/s, se bilag 7.1 og 7.2. En udsivning på 10^{-7} m/s passer virkelig godt med data, men da potentiometermålingerne konstant viste indsvivning vurderes en beskeden indsvivning af være mest realistisk.

Umiddelbart må det dog konkluderes at temperaturprofilerne tyder på en ganske beskeden indsvivning i størrelsesordenen 10^{-8} m/s. Ved denne lave indstrømning er temperaturprofilerne domineret af varmeledning fra søen. Resultaterne viser dog også, at det kunne være interessant at gentage målingerne på andre tidspunkter af året med henblik på at teste, om en evt. indstrømning er konstant hen over året. En mere permanent instrumentering med mulighed for dybere placering af temperatursensorer ville også være at foretrække.



Figur 10. Målte temperaturdata (farvede symboler) ved ST01-ST07. Linierne viser de simulerede profiler med indsvivning på 10^{-7} m/s (blå er kølige perioder, rød er varme perioder). Bemærk, at søens bund er i dybden 0 m. Her svinger temperaturen fra 6 til 18 grader svarende til søens antagede sinusformede temperatursvingninger.



Figur 11. Målte temperaturdata (farvede symboler) ved ST01-ST07. Liniere viser de simulerede profiler med indsivning på 10^{-8} m/s (blå er kølige perioder, rød er varme perioder). Bemærk, at søens bund er i dybden 0 m. Her svinger temperaturen fra 6 til 18 grader svarende til søens antagede sinusformede temperatursvingninger.

3.3.5 Sammenligning af metoder til bestemmelse af udveksling

Generelt er der ikke altid overensstemmelse mellem de tre metoder ved samme station (tabel 5). Det er velkendt, at heterogenitet i bundsedimentets hydrauliske forhold spiller en stor rolle for den lokale ind- eller udsivning. Samtidigt vil indstrømning generelt aftage med afstanden fra brinken.

Vandbalancen, se nedenfor, indikerer endvidere, at de klimatiske forhold er dominerende for udvekslingen af vand mellem søen og grundvandet. Nettonedbøren vil så at sige få vandstanden i søen til at stige eller falde hurtigere end grundvandstanden og der kan optræde dynamiske forhold, hvor søens vandstand pludselig i en kort periode er højere end grundvandstanden og omvendt. De hydrauliske målinger afspejler derfor en tids-specifik måling. Temperaturmålingerne er derimod en signatur på udvekslingen af vand mellem søen og grundvandet over en lidt længere periode.

Tabel 5. Sammenligning af metoder til bestemmelse af udveksling

Målemetode	Flux	Vurderet indsivning (m/s), positiv er ud af søen
Seepagemeter	q_{seep}	$+1 \cdot 10^{-7}$ til $+3 \cdot 10^{-7}$
Temperatur	q_T	$+10^{-8}$ til -10^{-7}
Darcy ¹	q_D	$+10^{-7}$ til $+10^{-6}$

¹ $q_D = K \cdot i$, hvor K er den hydrauliske ledningsevne af bundsedimentet, her antaget som fin sand med $K = 10^{-4} - 10^{-5}$ m/s, og i er den hydrauliske gradient målt med potentiometer til ca. 0,01.

3.3.6 Vandbalance

Nettonedbør

Gennemsnitsværdier for nettonedsivningen beregnet som differencen af nedbør og fordamning (perioden 1999-2005) fra DK-modellens 10x10km beregningsgrid, hvor Skærsø er beliggende indenfor (tabel 6). Nedbøren er estimeret ved brug af DMI's seneste standardkorrigerede arealværdier (Allerup et al., 1998), hvor observeret nedbør i gennemsnit korrigeres op med 21%. Den potentielle fordampning (ET) er beregnet med Makkink-ligningen som anbefalet af Plauborg et al. (2002). Nettonedbøren repræsenterer en arealværdi svarende til en våd engoverflade eller det der kommer nærmest en fri vandspejlsoverflade for en sø.

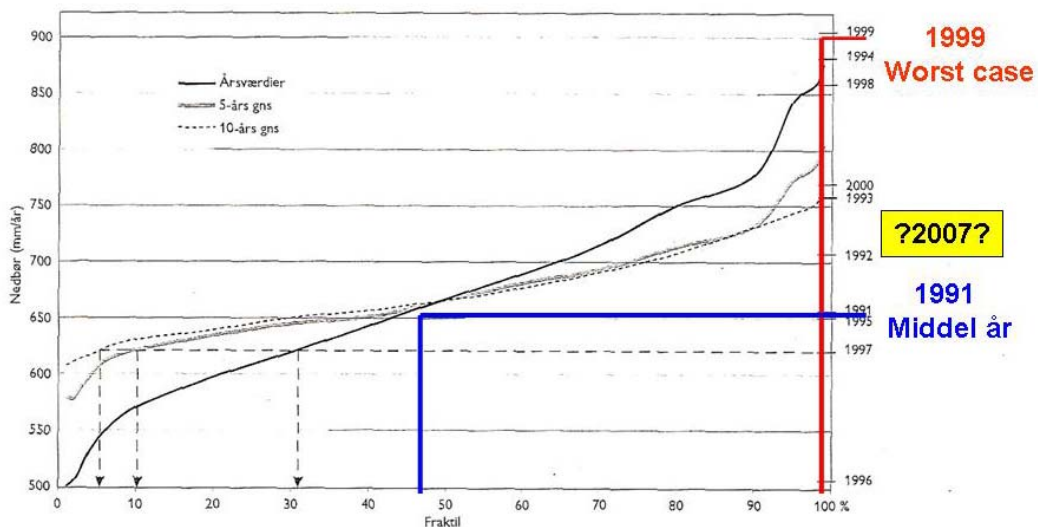
Tabel 6. Gennemsnitlig nettonedbør for Skærsø for perioden 1999-2005.

Måned	ET (mm/måned)	Nedbør (mm/måned)	Nettonedbør (mm/måned)
Jan	6,3	131,3	125,0
Feb	14,7	107,2	92,5
Mar	32,7	81,5	48,8
Apr	59,3	59,2	0,0
Maj	94,5	61,7	-32,8
Jun	97,9	92,0	-5,9
Jul	98,5	93,4	-5,1
Aug	86,6	86,2	-0,3
Sep	54,3	87,7	33,3
Okt	25,8	116,3	90,5
Nov	9,1	93,3	84,2
Dec	4,9	128,3	123,4
Total (mm/år)			553,6

Nettonedbøren er således beregnet til 553,6 mm/år for perioden 1999-2005 som årligt gennemsnit. På baggrund af DK-modellen er en tilsvarende beregning af nettonedbøren foretaget for det meget våde år 1999, som giver en nettonedbør på 827 mm for Skærsø. 1999 har således været et særdeles vådt år i forhold til hele perioden 1999-2005 men også i forhold til 1991. Det forholder sig sådan at 1991 og 1999 er to meget interessante (forskellige) år at beregne vandbalancen for for Skærsø.

I tabel 7 er ind- og ud-strømningsbudgettet til Skærsø opgjort for årene 1991, 1999 og perioden 1999-2005.

NOVA 2003 Temarapporten "Ferskvandets kredsløb" har for perioden 1991-2000 vurderet nedbør og nettonedbør for hele og dele af Danmark i forhold til længere tidsserier fra 1874-2000 (Refsgaard et al., 2003). Denne rapport viser at perioden 1991-2000 indeholder betydelige korttidsvariationer med våde og tørre år, som er mere sjældne end forventelig i en tiårs periode. Der er således store variationer med et enkelt meget tørt år (1996) og tre meget våde år (1994, 1998 og 1999) – eller vådest i hele den historiske tidsperiode fra 1874-2000 for Danmark. Det tørre år (1996) ligger på niveau med de tørre år som optræder med gentagelsesperiode på ca. 50 år (2 % fraktil). 1991 ligger meget tæt på 50% fraktilen – eller svarende til et "gennemsnitsår" for perioden 1991-2000 (Figur 12).



Figur 12. Fordelingen af nedbør fra perioden 1884-2000 som årsværdier, 5-års og 10-års glidende gennemsnit (Fra Refsgaard et al, 2003).

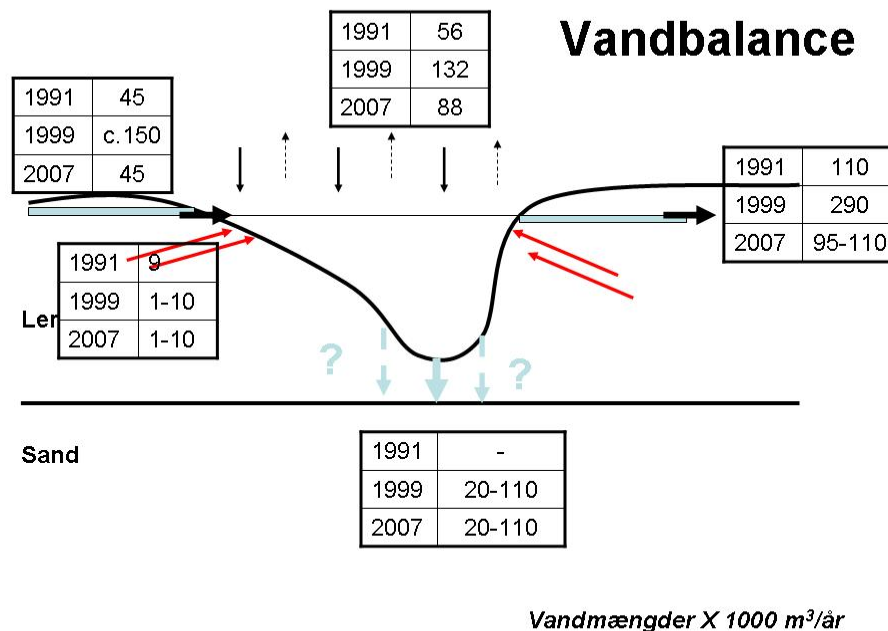
Derfor er opgørelsen af vandbalancen for de to år interessant med henblik på at kvalificere opgørelsen af oplandets størrelse for Skærsø. Vandbalancen for 1999 repræsenterer således en worse case (meget vådt år) og 1991 balancen en gennemsnits nettonedbørs-situation

Figur 13 viser en grafisk oversigt af vandbalance tallene for de tre år 1991, 1999 og 2007 (se også tabel 7).

Tabel 7. Vandbalance for Skærsø for årene 1991, 1999 og perioden 1999-2005

	Enheder	Vandmængde (1991) "gennemsnitsår"	Vandmængde (1999) "Vådeste år i 100 år"	Vandmængde (2007)
Ind				
Tilløb 1 ved T1 ¹⁾	m ³ /år	15.000	50.000 ? (gæt - ingen måling)	15.000
Tilløb 2 ¹⁾	m ³ /år	13.000	50.000	13.000
Tilløb 3 ved T4 ¹⁾	m ³ /år	17.000	47.000	17.000
Nettonedbør	m ³ /år	56.000	132.000*)	88.000
Direkte indsivning via grundvandzonen	m ³ /år	9.000	1-10.000 ²⁾	1-10.000 ²⁾
<u>Samlet vandtilførsel</u>	m ³ /år	110.000	280.000-289.000	134.000 – 143.000
Ud				
Afløb	m ³ /år	110.000	290.000	95.000 - 110.000 ³⁾
Nedsivning til regionalt grundvandsmagasin	m ³ /år	-	20.000-110.000 ⁴⁾	20.000-110.000 ⁴⁾
<u>Samlet udsivning</u>	m ³ /år	110.000	300.000 – 399.000	115.000 – 220.000

*) beregnet nettonedbør 1999: 827mm



Figur 13. vandbalance for årene 1991, 1999 og 2007.

1) Tilløb. Det har ikke været muligt at måle et flow i de tre tilløb ved nærværende undersøgelse i august 2007. Der er således i 2007 vandbalancen taget udgangspunkt i vandmængder estimeret i 1991, svarende til et gennemsnits nettonedbørsår. Det skal bemærkes at tilløbsmængden fra de tre grøfter sandsynligt repræsenterer en blanding af drænastrømning og terrænnært grundvand fra dele af det øvre grundvandsmagasin. Vandføringen i tilløb 1 er ikke målt i 1999. På baggrund af forholdet mellem målte vandføringer i tilløb 1-3 i 1991 er vandføringen i tilløb 1 i 1991 anslået til ca. 50.000 m³/år.

2) Direkte indsivning af grundvand. Udregnet på basis af en indsivning på 10^{-8} - 10^{-7} m/s og et effektiv indstrømningsareal på søens omkreds (2000 m) og middeldybde (1,4 m). Herved estimeres en grundvandsindsivning på op til 10.000 m³/år, i overensstemmelse med det tidligere estimat, men stadig langt mindre end de øvrige input, specielt nettonedbør. Det skal bemærkes at grundvandsindsivningen i 1999 sagtens kan have været større end 10.000 m³/år, da der må forventes at være noget større hydrauliske gradienter i oplandet i dette meget våde år end i mere tørre år som f.eks. 1991.

3) Afløbsgrøft. En simpel måling i afløbet (1,2 m bredt, ca. 0,1 i middeldybde) i august 2007 gav en tilnærmet hastighed i overfladen på ca. 0,025 m/s. Det giver en afstrømning på ca. 95.000 m³/år. Den reelle middelhastighed, og derfor også afstrømningen, vil være noget lavere. Det skal bemærkes at estimatet fra 1991 ligger rimelig tæt på værdien bestemt ved nærværende undersøgelse.

4) Nedsivning til regionalt grundvandsmagasin. Det er muligt, at søen taber vand til det underliggende grundvandsmagasin via søens bund. Udregnet på basis af antagelser om at det omkringliggende moræneler har en effektiv hydraulisk ledningsevne på $5 \cdot 10^{-8}$ - 10^{-7} og en hydraulisk gradient på 2,5-3,5 mellem søbunden og bunden af morænelersdækket (der er antaget umættede forhold i sandmagasin under morænelerslaget), samt et søbundsareal (dybde > 3 meter) på ca. 5.000m², giver dette en nedsivning på mellem 20.000 og 110.000 m³/år.

Kvantificeringen af de enkelte led i vandbalancen må således give anledning til flere overvejelser. Følgende alternative forklaringsmodeller kan foreslås:

- Alternativ 1. Hvis det er korrekt, at udsivningen fra Skærsø ligger i den høje ende (300.000-399.000 i 1999 og ca. 220.000 m³/år i 2007) via afløbsgrøften og søbunden, må indløbsmængderne via de tre tilløbsgrøfterne være klart under vurderet i 1991 undersøgelsen.
- Alternativ 2. Hvis udsivningen fra søbunden er lille (eller nul) er der rimelig balance mellem indstrømning til og udsivning af vand fra Skærsø i både 1991, 1999 og for perioden 1999-2005.

Det kan ikke afgøres ved nærværende undersøgelse hvorvidt alternativ 1 eller 2 er mest sandsynlig.

3.3.7 Størrelse af opland til Skærsø

Det topografiske opland til Skærsø er opgjort i 1991 undersøgelsen til 46,6 ha landbrugsarealer og 8,5 ha blandet skov og mose. Tabel 8 viser en opgørelse af de vandmængder der må forventes at strømme til Skærsø via dræn og terrænnære grundvandsmagasiner.

Tabel 8. Arealanvendelse og beregnede vandmængder fra oplandet til Skærsø

	Areal (ha)	Nettonedbør (mm/år) ²⁾		Vandmængder (m ³ /år)	
		1999	1999-2005	1999	1999-2005
Landbrugsareal ¹⁾	46,6	953	615	444.000	286.000
Skov og mose	8,5	867	581	74.000	49.000
<u>Samlet vandmængde</u>				518.000	335.000

1) Jordbundsforholdene på landbrugsarealerne i omgivelserne til Skærsø antages at være en blanding af lerede og sandede jorde.

2) Den gennemsnitlige nettonedbør repræsenterer arealværdier fra DK-modellens beregningsgrid. Den gennemsnitlige nettonedbør for perioden 1999-2005 på lerjord er opgjort til 593 mm/år og for sandjord 638 mm/år, så ved at antage en ligelig blanding af de to jordbundstyper findes en middelværdi på 615 mm/år for landbrugsarealerne ved Skærsø. Samme beregningsprincip er benyttet for 1999 nettonedbørstal på hhv. ler- og sandjord. Skov og mose repræsenteres ved en skov arealværdi på 581 mm/år (1999-2005) og 867 mm/år (1999).

Oplandsareal i perioden 1999-2005:

Den samlede nedsivning til dræn og grundvand på arealerne udpeget i 1991 undersøgelsen giver således en vandmængde på ca. 335.000 m³/år. Med de givne hydrogeologiske forhold i området vurderes det sandsynligt, at 80-90% af nedbøren vil strømme til Skærsø via dræn og det terrænnære grundvandsmagasin. De sidste 10-20 % af nettonedbøren infiltrerer gennem det 10 meter tykke morænelersdække til det regionale grundvandsmagasin. Dette betyder at ca. 265.000 - 300.000 m³/år ifølge denne opgørelse skal indstrømme i Skærsø, hvilket er 1,6-2,6 gange mere vand end der ifølge vandbalancen kan gøres rede for i tabel 7. Denne uoverensstemmelse kan skyldes, at de målte/estimerede indstrømninger til søen (tabel 7) er undervurderede, eller at det udpegede oplandsareal (tabel 8) er i størrelsesordenen 1,6-2,6 gange mindre end vurderet i 1991 undersøgelsen.

I det meget våde år 1999 viser den tilsvarende beregning af tilgængelig vandmængde der skal strømme ud i Skærsø hvis oplandsarealerne benyttes fra 1991 undersøgelsen. Hvis 80-90 % af 518.000 m³/år indstrømmer i Skærsø, svarer dette til 415.000-465.000 m³/år eller 1,4-1,7 gange mere end der reelt er "målt" som indstrømning til Skærsø. vandbalancen ved et våde år giver således stadig et mindre effektivt hydrologisk opland til Skærsø end bestemt i 1991 undersøgelsen.

Kun ved opstilling af en hydrologisk model for Skærsø området samt supplerende indsamling af feltdata om de faktiske forhold om drænvandsafstrømning og trykniveauer i

terrænnære grundvandsmagasiner på arealerne ned til Skærsø kan mere præcise grænser for det hydrologiske opland estimeres for våde og mere tørre år. Pga. det relativt flade terræn i området omkring Skærsø, vil grundvandsoplandet til søen afhænge af andre faktorer end topografien, f.eks. geologisk opbygning og afstand til omkringliggende vandløb. Grundvandsmodellen vil kunne fortælle, hvilken vej grundvandet strømmer gennem de tilstødende geologiske aflejringer til søen.

3.4 Vandkemiske forhold

Vandprøver fra de enkelte led af Skærsø's vandbalance er blevet udtaget for at afklare hvorvidt der kan være betydelige bidrag af N og P fra andre strømningsveje til søen end fra drænvandet. Analyseresultaterne er vist i bilag 8. For både nitrat og total P ses generelt lave værdier.

Total P i tilløb og afløb ligger i intervallet 0,01-0,05 mg P/l, hvilket er helt på niveau med hvad der blev fundet i forbindelse med 1991 undersøgelsen (Ribe amt, 1992). Total P bestemt på grundvand fra de fire transekter er alle meget lave (maks. 0,04 mg P/l) med undtagelse af en enkelt prøve i T3 (3A 151) med indhold af 0,44 mg P/l. Med gennemsnitlige værdier på 0,01-0,03 mg P / l, svarer det til 0,01-0,3 kg P tilført årligt til søen direkte fra det terrænnære grundvandsmagasin ved 1.000-10.000 m³/år indsivende grundvand.

Nitrat koncentrationen i både tilløbs- og afløbsvandet er målt til < 0,05 mg NO₃ /liter, hvilket er lavere end det der blev bestemt ved undersøgelsen i 1991. I det direkte indsivende grundvand i de fire transekter er bestemt en gennemsnitlig koncentration på 0,4-0,6 mg NO₃/l eller 0,1-0,15 mg N/l. Der strømmer tilsyneladende kun nitrat via grundvandszonen til søen i bredzonen ved transekterne T1 og T4. En antages løseligt at kun halvdelen af grundvandstilskuddet til søen fører nitrat med sig. Med denne antagelse giver det en årlig tilførsel via grundvandszonen på 0,05-0,75 kg N. Det skal bemærkes at der ikke er bestemt total N (dvs. hele kvælstofpuljen) på udtagne vandprøver fra transekterne, så det er ikke muligt at vurdere om det direkte indsivende terrænnære grundvand indeholder yderligere mængder af andre kvælstofforbindelser, som bidrager til den totale kvælstofpulje i søen.

Det kan således konkluderes, at der kommer et vist bidrag på 0,05-0,75 kg N (som nitrat) og på 0,01-0,3 Kg P (som total P) som grundvandstilskud til søen fra det terrænnære grundvandsmagasin.

4. Konklusion og anbefalinger

Den geologiske ramme for Skærsø kan beskrives med følgende geologiske tolkningsmodel. Den geologiske lagserie kan opdeles i en tre-lags model med et øvre 3-6 m tykt delvis vandførende lag (blandet smeltevandssand og moræneler). Laget har interesse når størrelsen af de drænende oplande til Skærsø skal vurderes. Det mellemste lag består af et morænelerslag fra ca. 5 meter under terræn til 20 meter eller mere i retning mod syd-øst. Bunden af Skærsø er indlejret i dette morænelerslag. Nederst optræder et større sammenhængende vandførende regionalt sandmagasin fra 10-20 meters dybde og flere steder til mere 80 meters dybde. Denne geologiske tolkningsmodel er i god overensstemmelse med notat af Jens Bruun-Petersen, Miljøcenter Ribe (2007).

En pejlerunde af boringer i det regionale grundvandsmagasin under Skærsø viser, at der ingen grundvand kan strømme til søen fra det underliggende grundvandsmagasin. Til gengæld kan det ikke udelukkes at søens vand langsomt drænes gennem morænelerslaget og således siver nedefter til grundvandsmagasinet.

Iltisotopsammensætningen ved de to transekter T1 og T4 er blevet målt i dybder fra 1,0 – 1,8 m under grundvandsspejl eller søbund. For transekt T1 (nordlige bred) ses aftagende $\delta^{18}\text{O}$ -værdier mod land, hvor $\delta^{18}\text{O}$ forholdet i boringerne 50 meter fra søbredden (inde på land) er meget tæt på rene grundvandsværdier mens værdierne i søkanten og ca. 7 meter ude i søen har vist værdier som er meget tæt på søvand samt en blanding af søvand og grundvand. $\delta^{18}\text{O}$ -værdierne i T1 indikerer, at grundvandstilstrømningen ved transekt T1 er så beskeden, at diffusion af søvand (med sø $\delta^{18}\text{O}$ signal) overpræger grundvands $\delta^{18}\text{O}$ signalet. $\delta^{18}\text{O}$ -forholdet i transekt T4 (vestlige bred) viser værdier lige under -8 under søen og på land, hvilket indikerer at området ved T4 er et tilstrømningsområde med grundvand til Skærsø.

Udvekslingen mellem grundvandzonen og Skærsø er blevet undersøgt med tre metoder:

- 1) Seepagemetermålinger ved fire transekter omkring Skærsø viser tilstrømning pr. m^2 søbund på op til $1,4 \text{ l}/(\text{t} \cdot \text{m}^2)$, svarende til $+1 \cdot 10^{-7}$ til $+3 \cdot 10^{-7}$ m/s. Samtidig viser seepagemetermålingerne, at tilstrømningen kan variere meget inden for få meter. Der er målt tre signifikante værdier, som alle indikerer en strømning af grundvand til søen gennem søbunden.
- 2) Potentiometer målinger rundt om søen viser opadrettet gradient hele vejen rundt, hvilket indikerer potentiale for direkte indstrømning fra grundvandzonen til søen på $+10^{-7}$ til $+10^{-6}$ m/s.
- 3) Temperaturprofiler tyder på en ganske beskeden indsivning i størrelsesordenen $+10^{-7}$ til 10^{-8} m/s. Ved denne lave indstrømning er temperaturprofilerne domineret af varmeledning fra søen.

Generelt skal det bemærkes, at der ikke altid er overensstemmelse mellem de tre metoder ved samme station. Det er velkendt, at heterogenitet i bundsedimentets hydrauliske forhold spiller en stor rolle for den lokale ind- eller udsivning. Samtidigt vil indstrømning generelt aftage med afstanden fra brinken.

En kvantificering af de enkelte led i Skærsø's vandbalance viser umiddelbart et overskud af vand, der strømmer ud af søen, i forhold til den mængde der strømmer til søen. Denne diskrepans kan forklares med følgende alternative forklaringsmodeller:

- 1) Hvis det er korrekt at udsivningen fra Skærsø ligger i den høje ende (ca. 220.000 m³/år) via afløbsgrøften og søbunden må indløbsmængderne via de tre tilløbsgrøfterne være klart undervurderet i 1991 undersøgelsen.
- 2) Hvis udsivningen fra søbunden er lille (eller nul) er der rimelig balance mellem indstrømning til og udsivning af vand fra Skærsø i både 1991 og 1999.

Det kan ikke afgøres ved nærværende undersøgelse hvorvidt alternativ 1 eller 2 er mest sandsynlig.

Den samlede nedsivning til dræn og grundvand på de oplandsarealer, der i 1991 undersøgelsen blev udpeget som oplandet til Skærsø, giver således en vandmængde svarende til ca. 335.000 m³/år med de af DMI korrigerede arealværdier for nedbør. Med de givne hydrogeologiske forhold i området vurderes det sandsynligt, at 80-90% af nedbøren vil strømme til Skærsø via dræn og det terrænnære grundvandsmagasin. De sidste 10-20 % af nettonedbøren infiltrerer gennem det ca. 10 meter tykke morænelersdække til det regionale grundvandsmagasin. Dette betyder at ca. 265.000 - 300.000 m³/år ifølge denne opgørelse skal indstrømme i Skærsø, hvilket er 1,6-2,6 gange mere vand end der ifølge vandbalancen kan gøres rede for. Denne uoverensstemmelse kan skyldes, at de målte/estimerede indstrømninger til søen er undervurderede, eller at det udpegede oplandsareal er i størrelsesordenen 1,6-2,6 gange mindre end vurderet i 1991 undersøgelsen.

I det meget våde år 1999 viser den tilsvarende beregning af tilgængelig vandmængde der skal strømme ud i Skærsø hvis oplandsarealerne benyttes fra 1991 undersøgelsen. Hvis 80-90 % af 518.000 m³/år indstrømmer i Skærsø, svarer dette til 415.000-465.000 m³/år eller 1,4-1,7 gange mere end der reelt er "målt" som indstrømning til Skærsø. vandbalancen ved et våde år giver således stadig et mindre effektivt hydrologisk opland til Skærsø end bestemt i 1991 undersøgelsen.

Endelig kan det konkluderes, at der på baggrund af vandprøvetagningen i august 2007 kommer et vist bidrag på 0,05-0,75 kg N (som nitrat) og på 0,01-0,3 kg P (som total P) som grundvandstilskud til søen fra det terrænnære grundvandsmagasin.

Følgende supplerende aktiviteter foreslås udført til opnåelse af en forbedret forståelse af, hvor det hydrologiske opland til Skærsø er beliggende:

1. Det foreslås, at der opstilles en grundvandsmodel for området omkring Skærsø. Grundvandsmodellen vil kunne kvantificere vandbalancen for Skærsø og den vil kunne anvendes til at udpege grundvandsoplandet til søen, dvs. fra hvilke områder, der sker grundvandstilstrømning til søen. Det er derfor vigtigt, at modellen dækker et område, som inkluderer tilgrænsende oplande, idet modellen i dette tilfælde selv vil kunne fastlægge grundvandsoplandet til Skærsø. Modellen vil kunne identificere de grundvandsdannende områder, som leverer vand til Skærsø, og vil desuden kun-

ne give resultater for transporttiden af det tilstrømmende grundvand. Desuden vil fordelingen mellem drænvandstilstrømning og grundvandstilstrømning til søen kunne kvantificeres.

2. Nærværende undersøgelse har vist, at det underliggende regionale grundvandsmagasin ikke bidrager med vand til Skærsø, da pejlinger i magasinet viser, at vandspejlet ligger under den nedre begrænsning af morænelerslaget, som søen er etableret i. Tilstrømningen til søen er derfor styret af de terrænnære grundvandsstrømninger og drænafstrømninger. Der er derfor behov for at gennemføre en pejlerunde i boringer og brønde, som er filtersat i de terrænnære aflejringer. Yderligere skal drænvandsafstrømningen måles flest mulig steder på arealerne ned til Skærsø. De indsamlede pejle- og drænafstrømningsdata er vigtige ved opstilling af grundvandsmodellen, da de vil være afgørende for fastsættelse af de hydrauliske parametre for de terrænnære formationer, som skal benyttes i modellen.

5. Referencer

Allerup, P., Madsen, H., & Vejen, F. (1998), Standardværdier (1961-90) af nedbørskorrekationer, DMI, Technical Report, 98-10.

Geofysiksamarbejdet (2005) Kursusnoter i geofysik grundvandskortlægning. Geofysisk afdeling, geologisk Institut, Aarhus Universitet.

Miljøcenter Ribe (2007). Geologi og hydrogeologi omkring Skærsø. Notat udarbejdet af Jens Bruun-Petersen, Miljøcenter Ribe (2007).

Plauborg F., Refsgaard JC., Henriksen HJ., Blicher-Mathiasen G. & Kern-Hansen C. (2002). Vandbalance på mark- og oplandsskala. DJF rapport, nr. 70.

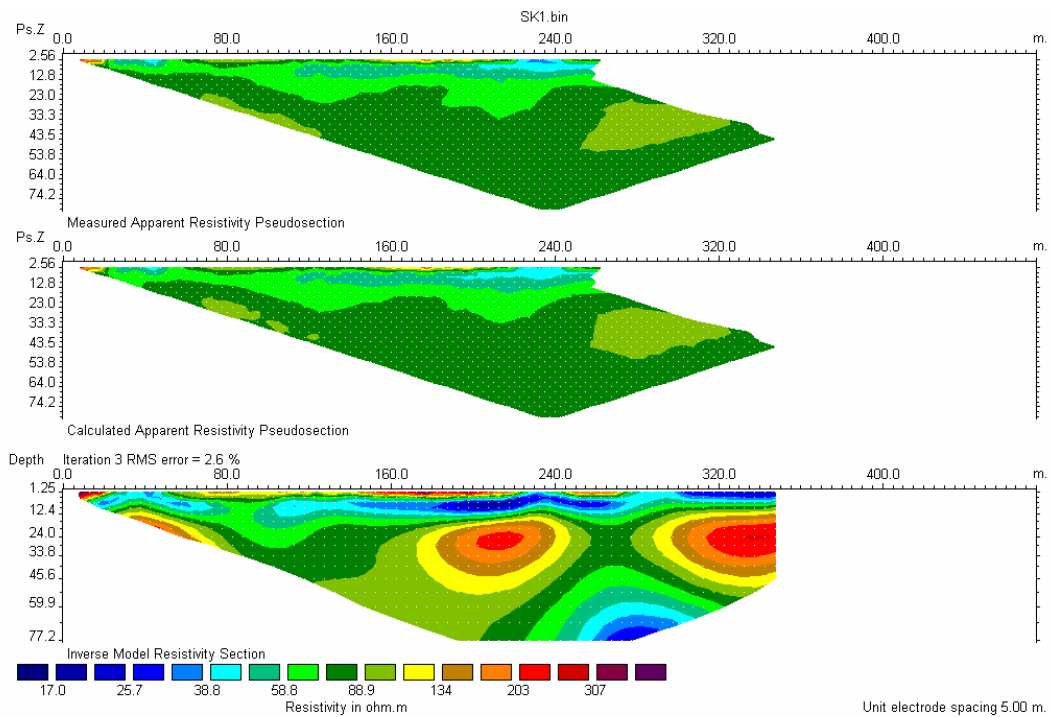
Refsgaard JC, Kern-Hansen, C, Plauborg F, Ovesen NB, Rasmussen P (2003). Ferskvandets kredsløb og tidlige variationer (kapitel 6) I: Henriksen HJ og Sonnenborg A (red.) NOVA 2003 Temarapport – Ferskvandets kredsløb. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse.

Ribe Amt (1992) Skærsø – miljøtilstand. August 1992.

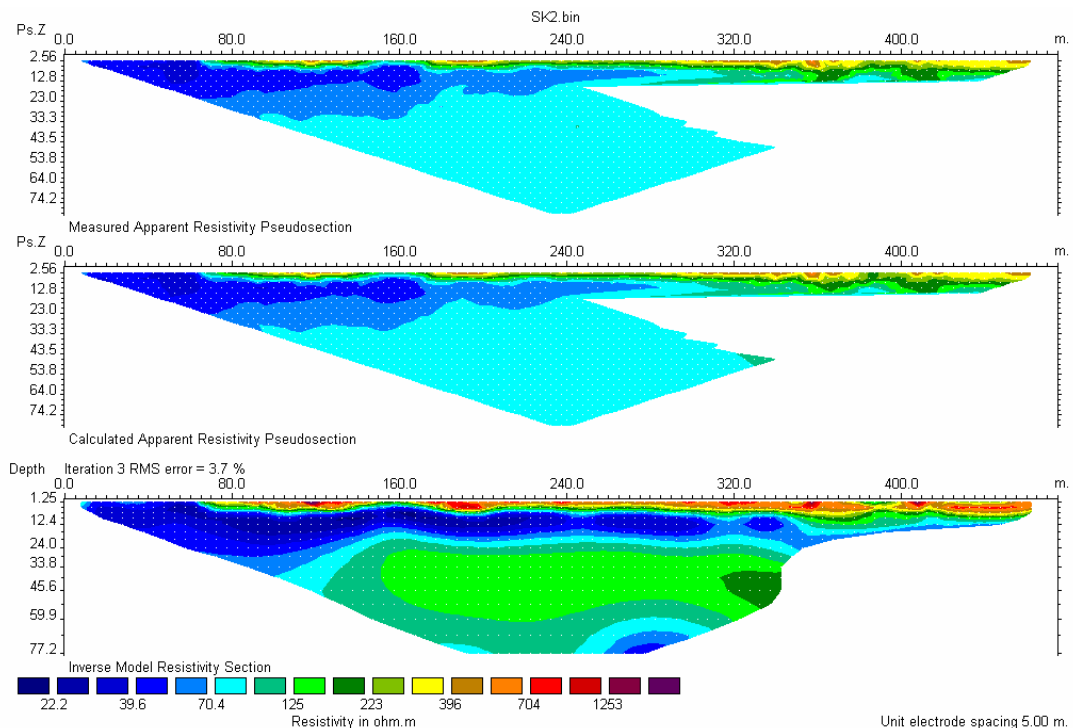
Skov- og Naturstyrelsen (1987). Geofysik og råstofkortlægning. Råstofkontorets kortlægningsserie 5.

Bilag

Bilag 1.	MEP1 profil
Bilag 2.	MEP2 profil
Bilag 3.	Pejleboringer ved Skærsø
Bilag 4.	Pejling og GPS måling af regionale pejleboringer
Bilag 5.1.	Vandspejlskoter i de tre transekter T1, T2 og T4
Bilag 5.2	Afbildning trykforhold i de tre transekter T1, T2 og T4.
Bilag 6.	Delta O ¹⁸ målinger
Bilag 7.1 og 7.2.	Simulerede temperaturprofiler
Bilag 8.	Vandkemiske analyser



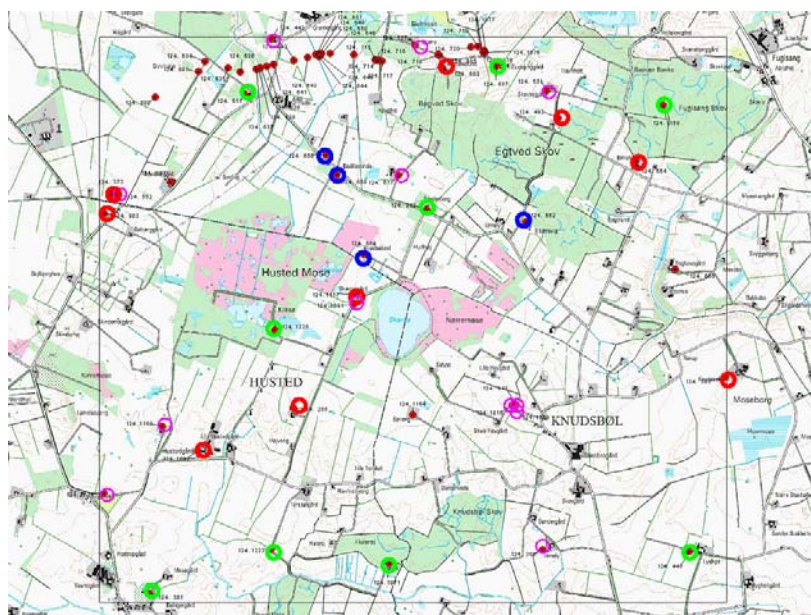
Bilag 1. MEP1 profil nord for Skærsø. Det nederste profil er det endelige inverterede profil.



Bilag 2. MEP2 profil øst for Skærsø (parallel med udstrømningsgrøften). Det nederste profil er det endelige inverterede profil.

GEUS nr.	N UTM	Ø UTM	Kote MP i m	VPS til MP i m	MP til terræn	top rør o/u MP	Kote VSP i m
124.301	6157569,777	515400,290	59,069 ± 0,007	8,31 m	0,45 m	-0,93 m	+50,76
124.342	6160628	517613	75,9	26,58 m	0	-1,44 m	+49,32
124.445	6157922,356	519719,487	70,234 ± 0,006	27,58 m	0,52 m	-1,86 m	+42,65
124.511	6161498,627	516182,876	63,881 ± 0,028	13,28 m	0,18 m	-1,40 m	+50,60
124.687	6161764,222	518186,169	73,512 ± 0,016	26,37 m	0,19 m	-1,80 m	+47,14
124.1071	6157812,662	517319,140	56,769 ± 0,014	8,43 m	0,33 m	-1,28 m	+48,34
124.1159	6161458,465	519500,320	67,290	(23,53m)	0		(+43,76)
124.1223	6157924,666	516372,646	56,373 ± 0,09	(6,76m)	0,40 m	0	(+49,61)
124.1225	6159681,817	516399,031	65,378 ± 0,021	(15,27m)	0,35 m	0	(50,11)

Bilag 3. Pejling og GPS indmåling af målepunkt (MP) for boringer i det regionale grundvandsmagasin under Skærsø. Kote til VSP angivet i () betyder at boring har været låst men det er vurderet at et indrapporteret vandspejl til GEUS's Jupiterdatabase er tilpas nøjagtigt til at indgå i denne undersøgelse. Vandoverfladen i Skærsø er beliggende i Kote: +66,66 m o DNN



Bilag 4. Pejleboringer ved Skærsø. Grøn ring: indgår i potentialkortet (figur 5). Rød ring: Boring der er forsøgt fundet ved pejlerunden, men af forskellige grunde ikke tilgængelig. Lilla ring: Boring ikke besøgt. Blå ring: Korte boringer (3-6m dybe) nord for Skærsø, som benyttes til lokal vandforsyning.

transekt T1

afstand	1,75 m	1,0 m	
-50	66,712	66,71	D
-30	66,67	66,664	C
-1,31	66,662	66,672	B
0,5	66,661	66,656	A
7	66,645		E

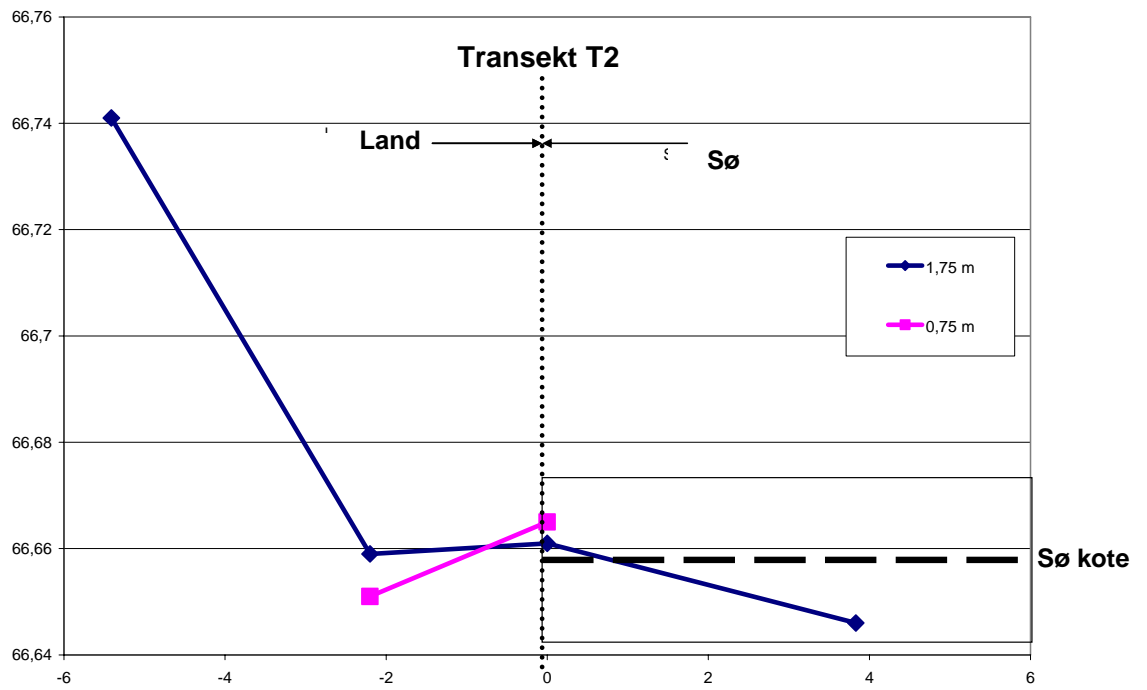
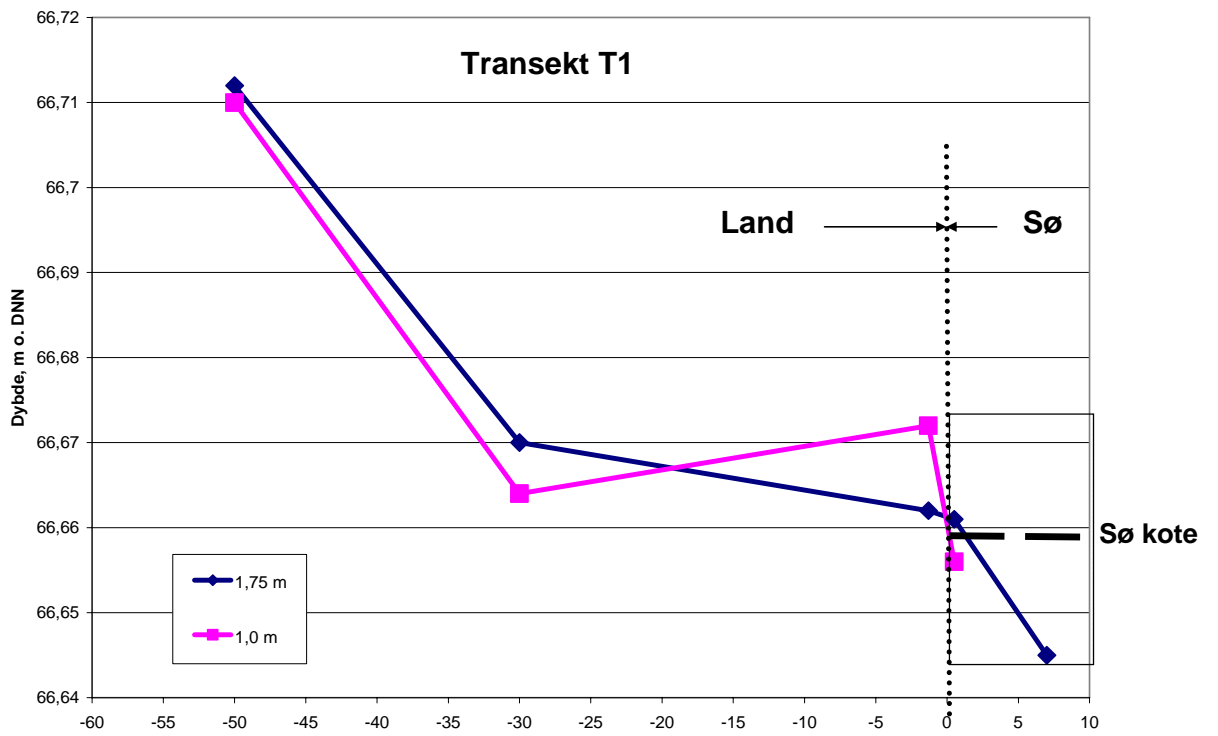
transekt T2

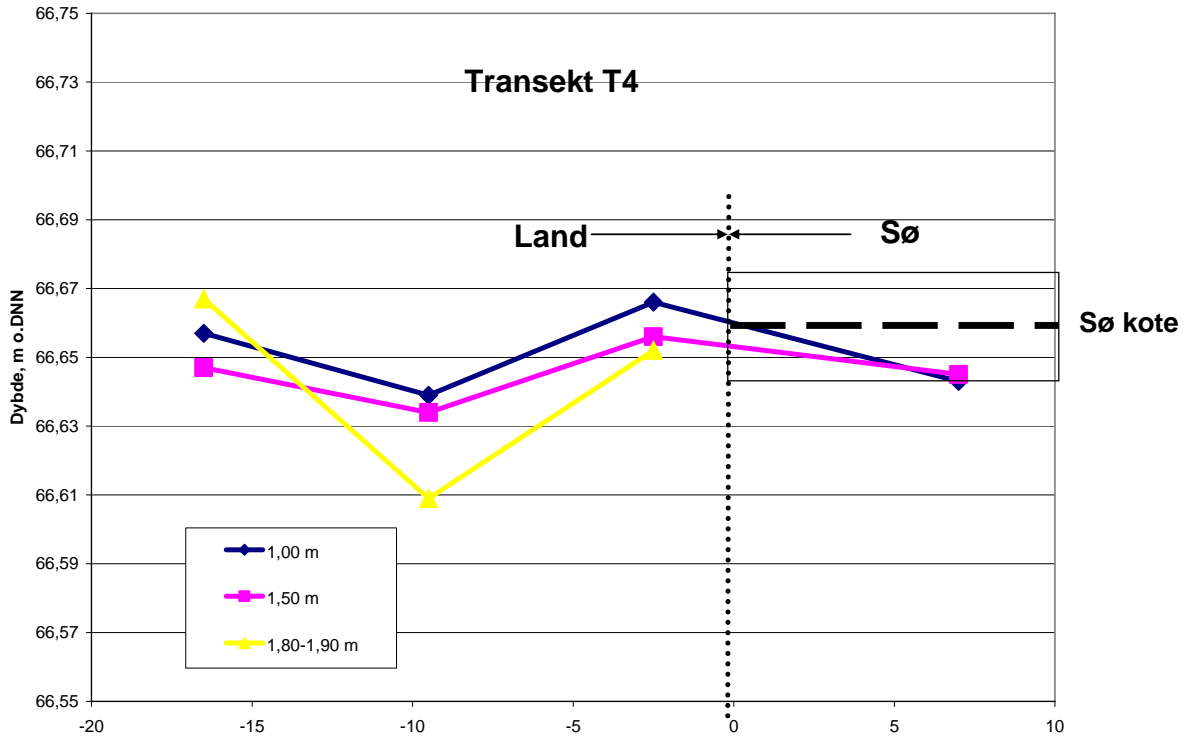
afstand	1,75 m	0,75 m	
3,83	66,646		A
0	66,661	66,665	B
-2,2	66,659	66,651	C
-5,41	66,741		D

transekt T4

afstand	1,00 m	1,50 m	1,80-1,90 m	
-16,5	66,657	66,647	66,667	A
-9,5	66,639	66,634	66,609	B
-2,5	66,666	66,656	66,652	C
7	66,643	66,645		D

Bilag 5.1. Vandspejlskoter i de tre transekter T1, T2 og T4. T3 transektet var stærkt præget af lerede sedimenter så de målte vandspejl kan ikke bruges til beregning af hydrauliske gradienter i området ved T3. Dette havde krævet en betydeligere længere tid (dage) til at afvente steady-state retablering af vandspejl.

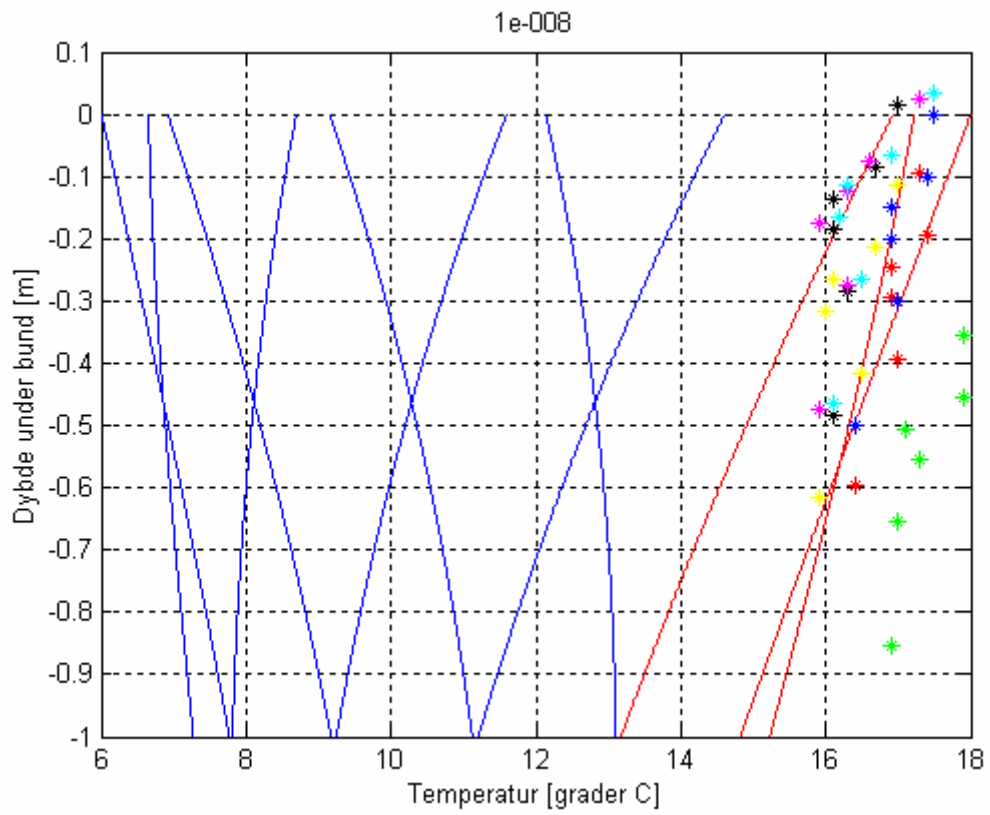




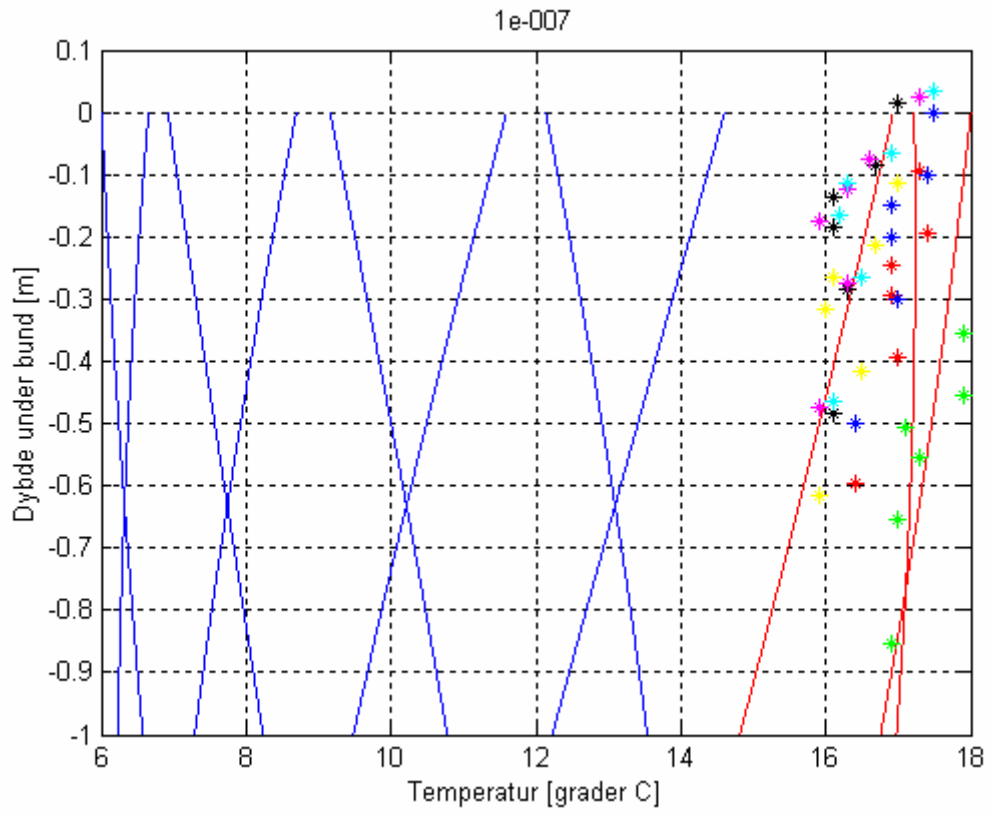
Figur 5.2. Afbildning trykforhold i de tre transekter T1, T2 og T4. Søens vandspejl er indmålt med GPS ved transekt T3 til kote 66,66 ($\pm 1,4$ cm). Denne kote antages at være det samme ved de øvrige tre transekter. Bemærk forskellig skala på begge akser i de tre figurer. Enheden på x-aksen er meter i afstand fra søbredden (positiv i sø).

Sample Name	Collected analysis results	
	Avg. d18O	StdDev
4A_101_5	-8,02	0,12
4A_150	-8,10	0,10
4A_182	-8,02	0,08
4B_103	-8,29	0,13
4B_150	-7,94	0,10
4B_189	-7,91	0,14
4C_100	-7,90	0,08
4C_150	-8,72	0,11
4C_185	-8,67	0,10
4D_110	-7,82	0,06
4D_120	-7,60	0,10
A-118	-3,06	0,09
A-175	-5,31	0,04
B-100	-3,58	0,07
B-175	-3,51	0,09
C-100	-7,57	0,07
C-175	-7,78	0,07
D-100	-7,58	0,09
D-175	-6,74	0,07
E-100	-4,77	0,14
E-150	-4,92	0,10
T1_SOE	-2,83	0,09
T4_SEEP-A	-3,01	0,08
T4_SEEP-B	-3,19	0,13
T4_SOE	-2,99	0,21
Vanloeb_Tyk_Skov	-7,37	0,08

Bilag 6. Delta O18 målinger i tre transekter, i Skærsø, i seepagemeter og i udløbsvand.



Bilag 7.1. Simulerede temperaturprofiler med udsivning på 10^{-8} m/s.



Figur 7.2. Simulerede temperaturprofiler med udsivning på 10^{-7} m/s.

prøve ID		NO3	SO4	P-total
A 118	T1	<0,05	<0,05	<0,01
A 175	T1	0,17	4,67	<0,01
B 100	T1	1,72	3,2	<0,01
B 175	T1	0,16	0,5	<0,01
C 100	T1	0,1	4,76	<0,01
C 175	T1	1,5	2,55	<0,01
D 100	T1	0,19	4,2	<0,01
D 175	T1	1,53	1,51	<0,01
E 100	T1	0,39	0,76	<0,01
E 150	T1	<0,05	1,12	<0,01
T1 SØ	T1	0,33	6,38	0,01
T1 seep B	T1	<0,05	6,62	0,06
2A 175	T2	<0,05	0,38	0,03
2B 175	T2	<0,05	0,1	0,01
2C 75	T2	<0,05	2,23	0,02
2C 175	T2	<0,05	7,4	0,04
2D 175	T2	<0,05	1,08	0,03
3A 151	T3	0,07	0,66	0,44
3A 175	T3	<0,05	2,18	<0,01
3B 106,5	T3	0,05	0,45	0,02
3B 176	T3	<0,05	3,3	0,02
3C 150	T3	<0,05	5,6	0,01
3C 200	T3	<0,05	2,77	<0,01
SØ T3	T3	<0,05	9,71	0,01
4A 101,5	T4	<0,05	11,56	0,01
4A 150	T4	<0,05	5,94	0,01
4A 182	T4	<0,05	5,76	<0,01
4B 103	T4	<0,05	7,96	<0,01
4B 150	T4	<0,05	12,9	<0,01
4B 189	T4	0,45	12,43	<0,01
4C 100	T4	0,26	0,37	0,01
4C 150	T4	3,01	2,28	<0,01
4C 185	T4	<0,05	6,81	<0,01
4D 110	T4	0,12	1,18	0,02
4D 120	T4	<0,05	2,48	0,02
T4 seep B	T4	<0,05	7,4	0,01
T4 SØ	T4	<0,05	<0,05	0,01
T4 seep A	T4	<0,05	7,29	0,03
tilløb v. T1		<0,05	6,5	0,02
tilløb v. T4		<0,05	3,98	0,05
udløb		<0,05	6,17	0,01

Bilag 8. Vandprøvetagning uorganisk kemi. Enhed: mg/l.